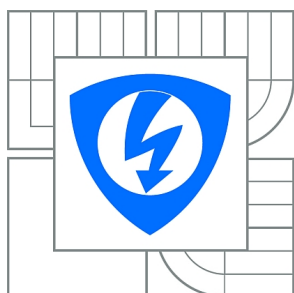




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNologiÍ**  
**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

# **AUTOMATICKÉ POČÍTÁNÍ OSOB**

AUTOMATIC PEOPLE COUNTING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MICHAL SZALBOT**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MARTIN KOUTNÝ, Ph.D.**

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Michal Szalbot

**ID:** 115281

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

## Automatické počítání osob

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Analyzujte možné způsoby detekce pohybu osob. Ve své práci se především zaměřte na využití aktivních a pasivních infračervených detektorů. Prostudujte a navrhnete zapojení těchto detektorů. Navrhnete způsob automatického počítání osob pomocí těchto senzorů. Jako prostředí pro počítání osob uvažujte městskou hromadnou dopravu. Navrhnete a analyzujete další možné způsoby automatického počítání osob.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ROGALSKI, Antonio. Infrared Detectors,. USA : CRC Press, 2010. 898 s.
- [2] Pyroelkrické detektory infračerveného záření. Amatérské rádio řada B - pro konstruktéry. 1992, 5, s. 163-180.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Koutný, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá využitím optických senzorů pro detekci pohybujících se osob v definovaném prostoru dopravních prostředků. Pro tuto práci byly vybrány senzory - optická závora, pasivní infračervený senzor, aktivní odrazový senzor a také ultrazvukový senzor k počítání osob ve vozidlech hromadné dopravy. V úvodu je upřesněna problematika zadání a použité senzory. Jsou popsány vybrané aplikace dostupné na trhu a popis jejich funkce. Samotné řešení se zabývá jednotlivými typy senzorů, jejich funkcí, popisuje jednotlivá zapojení využitá při testování a výsledky jednotlivých testů. V závěru jsou shrnuty jednotlivé poznatky o senzorech, jejich možnostech a možná řešení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Optická závora, PIR senzor, Aktivní odrazový senzor, Ultrazvukový senzor

## **ABSTRACT**

The main subject of this bachelor thesis is utilization of optical sensors for people vehicle counting. This types of sensors were selected - optical barrier, passive infrared sensor, active reflective sensor and ultrasonic sensor for people vehicle counting. The tasks and used sensors are described in introduction. The selected applications available on the market and description of their function are described there too. The solution describes individual type of sensors, their function, used involvement in tests and tests results. The conclusion contains summary of knowledge of sensors, their possibilities and other possible solutions.

## **KEYWORDS**

Optical barrier, PIR sensor, Active reflective sensor, Ultrasonic sensor

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Automatické počítání osob“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Koutnému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Praktická řešení</b>	<b>9</b>
<b>2 Optická závora</b>	<b>11</b>
2.1 Popis funkce optické závory . . . . .	11
2.2 Realizace optické závory . . . . .	12
2.3 Hodnocení optické závory . . . . .	12
<b>3 PIR senzor</b>	<b>14</b>
3.1 Popis funkce PIR senzoru . . . . .	14
3.1.1 Oblast detekce . . . . .	15
3.2 Testování a realizace PIR senzoru . . . . .	15
3.2.1 Testování modulu PIR . . . . .	15
3.2.2 Realizace senzoru . . . . .	16
3.3 Hodnocení PIR senzoru . . . . .	18
<b>4 Aktivní senzor přiblížení</b>	<b>20</b>
4.1 Popis funkce aktivního senzoru přiblížení . . . . .	20
4.1.1 Oblast detekce aktivního senzoru . . . . .	21
4.2 Testování a měření . . . . .	21
4.3 Hodnocení aktivního senzoru přiblížení . . . . .	23
<b>5 Ultrazvukový senzor</b>	<b>25</b>
5.1 Popis funkce ultrazvukového senzoru . . . . .	25
5.2 Testování ultrazvukového senzoru . . . . .	25
5.3 Hodnocení ultrazvukového senzoru . . . . .	26
<b>6 Závěr</b>	<b>27</b>
<b>Literatura</b>	<b>28</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>29</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Problém optické závory[1]	9
1.2	Počítací kamera[2]	10
1.3	Obraz IR kamery[2]	10
2.1	Optická závora	11
2.2	Zapojení brány[8]	12
3.1	Modul PIR senzoru	14
3.2	Zakrytí čočky	15
3.3	Rozsahy zastíněné čočky[4]	16
3.4	Schéma zapojení	16
3.5	Průběh zesíleného signálu	17
3.6	Průběh zachycující průchod dvou lidí	18
4.1	Funkce odrazového senzoru	20
4.2	Schéma zapojení senzoru přiblížení[7]	22
5.1	Časový diagram senzoru SRF05[9]	26

# ÚVOD

Předkládaný projekt se zabývá využitím a problematikou pohybových senzorů při počítání lidí v městské hromadné dopravě a problémy spojené s tímto úkolem. Hlavním zadáním je zajištění přesné detekce jednotlivých osob při nastupování a vystupování z vozidla. Definovat pohyb pasažérů prostorem dveří a zvolit vhodné řešení umístění senzorů. Použití senzorů určitého typu je vázáno na vnější vlivy, výběr ovlivňuje snadná montáž bez dodatečných nákladných úprav vozidla a bezpečnost pasažérů, snadnou uživatelskou obsluhu a cenu.

Do testu byly zařazeny vybrané senzory: Pasivní infračervený senzor - Passive infrared sensor (PIR). Senzor detekuje Infračervené - Infrared (IR) záření, které vyzařuje lidské tělo.

Aktivní IR senzor- pracuje na principu odrazu IR paprsku od objektu zpět k přijímači.

Optická závora- detekce přerušením paprsku IR

Ultrazvukový senzor- vysílač zvukových vln o vysoké frekvenci, odraz vlny je zachycen zpět senzorem.

Uvedené senzory jsou popsány, specifikovány jejich vlastnosti, funkce, schéma zapojení použité pro daný senzor. Dále jsou uvedeny možné chyby detekce, průběh testů a závěrečné zhodnocení výsledků. V závěru práce jsou pak shrnuty poznatky z testování a návrhy řešení pro zvýšení účinnosti detekce, eliminace nedostatků a použití v provozu.

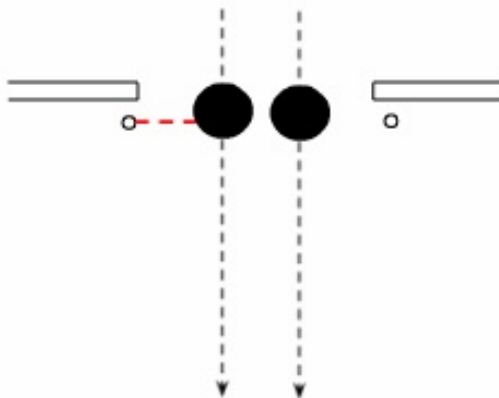


# 1 PRAKTICKÁ ŘEŠENÍ

Statistické počítání osob v dopravě je v moderním světě neoddělitelnou součástí sběru informací pro vyhodnocení pohybu osob a určení efektivního fungování dopravy. Obor detekce a počítání osob a pohybujících se subjektů je rychle rozvíjejícím se odvětvím na celém světě. Přední světoví dodavatelé těchto technologií nabízí vhodná řešení, které kombinují systémy aktivních a pasivních IR senzorů v jednom zařízení a speciálních kamer s rozlišovacím softwarem. V moderním světě internetu se ve velké míře využívá toho fenoménu k identifikaci osob pomocí webových kamer připojených do sítě a sběrem informací na centrální server, který tato data zpracovává vhodným programem pro detekci.

Kombinace všech uvedených technologií umí vykompenzovat jednotlivé nedostatky těchto senzorů a dosáhnout velmi přesných výsledků. Kamery s integrovaným systémem rozpoznávání jsou velmi přesné a efektivní pro detekci velmi rozlehlých prostor. Mají vysokou rozlišovací schopnost. Cena těchto kamer je velmi vysoká a pro hromadné nasazení v dopravě se jedná o velmi vysokou investici.

Optická závora je nejčastějším řešením detekce. Funkce závory je dána nasměrováním paprsku přes kontrolovaný prostor. Přerušení paprsku vyvolá změnu stavu v senzoru. Tento systém patří mezi nejlevnější, ale také je nejméně přesný. Optická závora není schopna rozlišit více subjektů, pohybujících se v těsném sledu za sebou nebo vedle sebe bez mezery, která je pro detekci počtu osob nezbytná, viz. 1.1. Tato vlastnost systému způsobuje nepřesnost ve statistice počítání a není žádoucí v případě vyžadované vyšší statistické přesnosti.



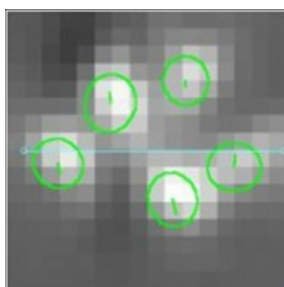
Obr. 1.1: Problém optické závory[1]

Paprsek světelné závoří je ze zdroje vyslán a na protější straně odražen zpět ke zdroji. Znečištění odrazového elementu za provozu vozidla má vliv na další zvýšení statistické nepřesnosti. Jeho pravidelná údržba navýší náklady na provoz detekce. Instalace optické závoří vyžaduje specifický prostor, vyčleněný pro tento senzor. Do tohoto prostoru nemohou být vloženy žádné předměty. Senzor přestává pracovat správně. Optická závoří je velmi vhodná pro získání informace o pohybu v dané oblasti, evidence přítomnosti osob.



Obr. 1.2: Počítačí kamera[2]

Velmi sofistikovaným, přesným a vhodným řešením pro detekci osob a jejich počítání jsou IP kamery, 1.2. Tyto kamery jsou vybaveny speciálním softwarem na rozpoznání objektů. Kamera v součinnosti se softwarem je schopna rozlišit např. nákupní vozík od člověka. V této sestavě je možno využít i tzv. IR kamery, kdy tato kamera nezachytává celkový obraz, ale pouze infračervené záření. Následně software kamery vyhodnotí jednotlivé body - obraz 1.3 . Tyto metody počítání se uvádějí jako nejpřesnější s přesností 95-99% a mají výhodu bezúdržbového provozu. Sběr dat kamer je možno realizovat bezdrátovou sítí, intranetem nebo internetem. Kamery jsou převážně umístěny pod stropem místnosti a jejich zastínění je za běžných podmínek provozu málo pravděpodobné na rozdíl optické závoří 10. [1]



Obr. 1.3: Obraz IR kamery[2]

## 2 OPTICKÁ ZÁVORA

### 2.1 Popis funkce optické závory

Optická závora využívá jednoduchého principu přerušení infračerveného paprsku mezi vysílačem a přijímačem. Toto přerušení vyvolá reakci v logickém obvodu přijímací části. Optické závory mají dva způsoby provedení.

První provedení je s odrazem, kdy vysílač i přijímač jsou umístěni na stejné straně detekčního prostoru převážně v jednom pouzdře. Jsou opticky odděleny a vysílaný signál z infračervené diody je odražen od zrcadla nebo jiné odrazové plochy.

V druhém provedení jsou vysílač a přijímač umístěny naproti sobě v jedné přímce a paprsek je veden přímo z vysílače do přijímače. Toto provedení je znázorněno na obrázku 2.1



Obr. 2.1: Optická závora

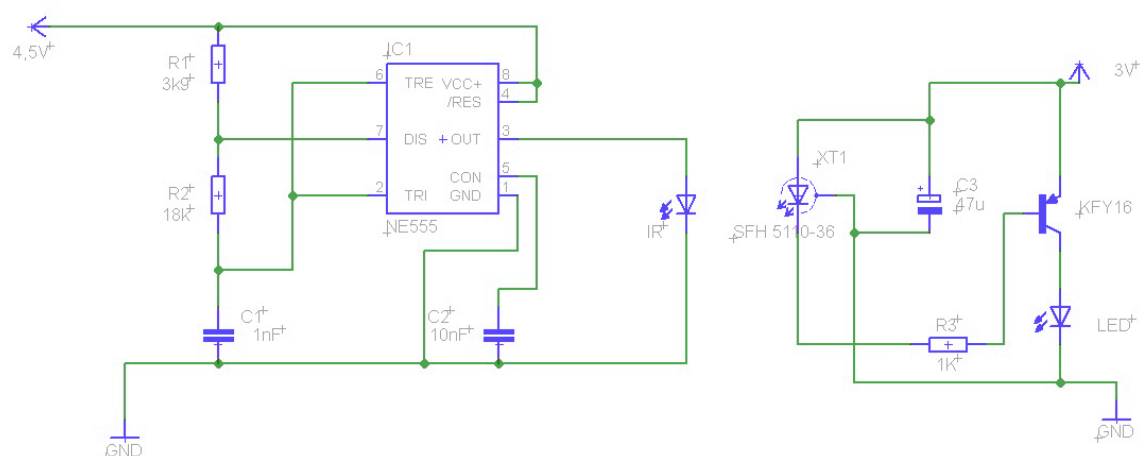
Senzor má velmi jednoduchou konstrukci. Vysílač je tvořen infračervenou diodou a přijímač fototranzistorem, který reaguje na vlnovou délku IR záření. Fototranzistor spíná logický obvod, který indikuje přítomnost překážky např. rozsvícením LED diody. Senzor bude umístěn na dopravním prostředku a vystaven dennímu světlu s možností i ostrého slunečního svitu. Vhodným řešením jak zabránit fototranzistoru, aby nereagoval na infračervenou složku denního světla, je připojení obvodu s generátorem na vysílací straně.

Generátor generuje signál o nastavené frekvenci. Signál je poté přiveden na diodu a následně přijat fototranzistorem. Nastavení fototranzistoru způsobuje reakci na přerušení paprsku světla pouze v dané frekvenci generátoru. Jedná se o velmi jednoduché řešení eliminace vnějších vlivů cizích zdrojů infračervené složky světla.

## 2.2 Realizace optické závory

Pro realizaci optické brány byl použit obvod- obr. 2.2. Vysílač se skládá z generátoru tvořeného NE555, který je nastaven na frekvenci 38 kHz. Signál je přiveden na infračervenou diodu. Přijímací obvod je tvořen IR přijímačem SFH 5110-36, který reaguje na shodnou frekvenci, kterou vysílá infračervená dioda a zhasíná led diodu připojenou k tranzistoru.

Dosah tohoto řešení senzoru je cca 2 m. Změna vzdálenosti je dána použitou infračervenou diodou a její vyzařovací charakteristikou.



Obr. 2.2: Zapojení brány[8]

## 2.3 Hodnocení optické závory

Optická závora plní požadavky v jednoduché montáži, zapojení a vcelku bezproblémovém provozu. Poruchy v detekci budou tvořit předměty s dobrou odrazovou plochou na svém povrchu. Pokud se nachází v blízkosti vysílače, odráží signál a způsobují chyby.

Optická závora není schopna rozlišit více subjektů, pohybujících se v těsném sledu za sebou bez mezery, která je pro detekci počtu osob nezbytná. V tomto případě nedojde k opětovnému navázání optického spojení. Logický obvod vyhodnotí tento jev jako jedno přerušení.

Další podmínkou je nutnost, aby ve snímaném prostoru nebyly žádné cizí překážky, jinak závora přestane pracovat.

Shrnutím všech poznatků o tomto senzoru získáme následující závěr.

Optická závora není vhodná pro naši aplikaci na počítání pasažérů s přihlédnutím k požadované přesnosti počítání. V ideálních případech by mohla být účinnost tohoto

senzoru prakticky 99%, ale to by mohlo nastat jen v případě, kdy by snímaným prostorem nastupoval vždy jeden člověk. Pokud je snímaný prostor širší a nastane případ, kdy nastupují dva cestující vedle sebe, dochází ke snížení účinnosti až pod 50%.

Senzor je vhodný na detekci přítomnosti, například pro poplašný systém, nebo detekci osob a překážek v prostoru, kde může dojít ke škodám na majetku a zdraví (pohyb automatických bran, dveří....).

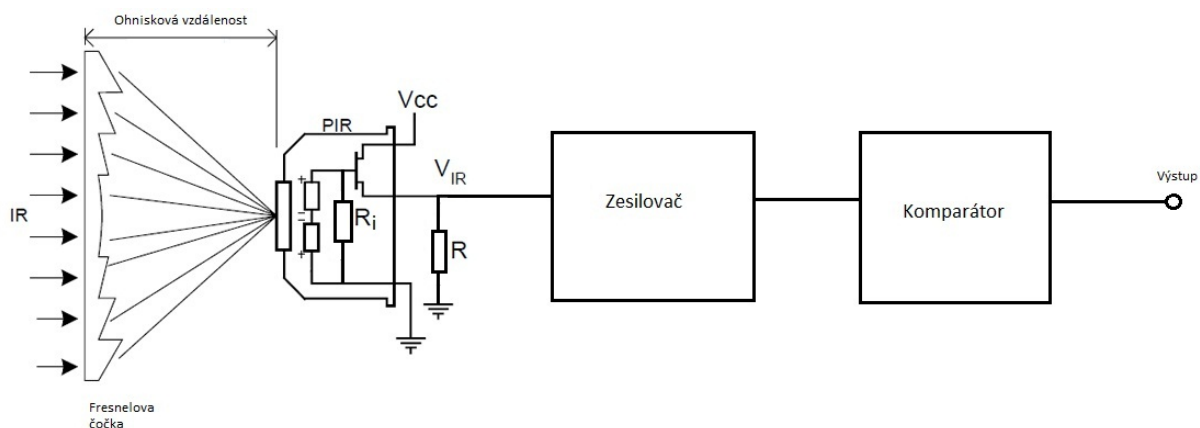
## 3 PIR SENZOR

### 3.1 Popis funkce PIR senzoru

PIR senzor - infračervený detektor je čidlo reagující na infračervené záření, které člověk vyzařuje. Toto záření je zachyceno detektorem vyrobeným z pyroelektrického dielektrika, které slouží jako měnič "změna teploty-napětí". Změna teploty na pyroelektrickém detektoru způsobí polarizační změny. Tyto změny se projeví jako slabé napětí na přívodech k měniči.

Důležitým požadavkem pro správnou funkci senzoru je krátká odezva. Z tohoto důvodu jsou plátky dielektrika velmi tenké, což má za následek pokles přenosu asi o 6 dB. Protože vstupní impedance je velmi vysoká, do detektoru se přidává FET tranzistor, který je zapojen jako napěťový sledovač. Do zapojení je vložen rezistor, který je připojen na řídicí elektrodu tranzistoru a zem. Toto zapojení omezuje dolní mezní kmitočet na desetiny Hz a to je důvodem, proč PIR detektory nemohou detekovat statický zdroj infračerveného záření a jsou využívány jako detektory pohybu.[3]

Tyto senzory se využívají pro stavbu modulů, které jsou již přizpůsobeny pro požadované aplikace. Modul má následující strukturu- obr. 3.1. Obvody použité v modulech se mohou lišit v závislosti na požadované funkci. Hlavní struktura zůstává stejná- Fresnelova čočka, PIR senzor, zesilovací obvod a komparátor. Tyto čtyři prvky modul musí vždy obsahovat. Po těchto obvodech už mohou následovat např. časové obvody (čítače, zpožďovače ....).



Obr. 3.1: Modul PIR senzoru

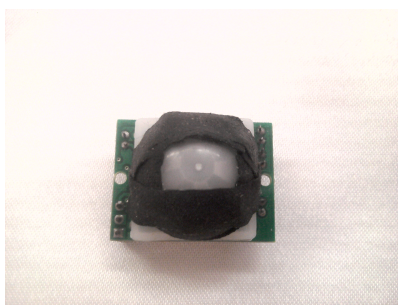
### 3.1.1 Oblast detekce

Samotný detektor má oblast detekce v hodnotách přibližně  $130^\circ$  jak v ose X tak v ose Y do vzdálenosti 1 až 2 metry v závislosti na typu detektoru. Součástí PIR detektoru je Fresnelova čočka, která přizpůsobuje oblast detekce. Jelikož pro IR signál nejsou vhodné skleněné čočky, je Fresnelova čočka vyrobena z plastických materiálů. Tato čočka směřuje IR záření do úzkých kuželů, díky tomu je možno vyčlenit určité prostory detekce a zvýšit detekční vzdálenost od detektoru. [3]

## 3.2 Testování a realizace PIR senzoru

### 3.2.1 Testování modulu PIR

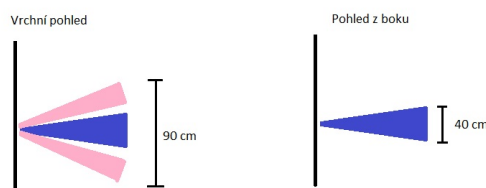
První testování bylo prováděno na hotovém modulu *PIR Motion Detection Sensor Module*<sup>1</sup>. Na modulu bylo testováno hlavně vyčlenění specifického prostoru, který byl vyžadován pro naši aplikaci. Protože nebyla k dispozici Fresnelova čočka, která by splňovala parametry pro vymezení prostoru dveří, bylo nutné upravit stávající, která byla u dodaného detektoru.



Obr. 3.2: Zakrytí čočky

Po několika pokusech s materiály byla použita černá páska, která velmi dobře odstíní IR záření. Jak je vidět na obrázku 3.2, zůstala odkrytá hlavně středová část čočky, která vystačila k pokrytí prostoru o velikosti standardních vchodových dveří (90cm). Zároveň byl také vymezen prostor do hloubky, který činil 40cm. Na obrázku 3.3 jsou znázorněny snímací kužely IR záření, které prochází zastíněnou Fresnelovu čočkou. Pro správnou funkci detektoru s přihlédnutím ke specifickým požadavkům snímaného prostoru navrhuji zajistit čočku s přesnými parametry.

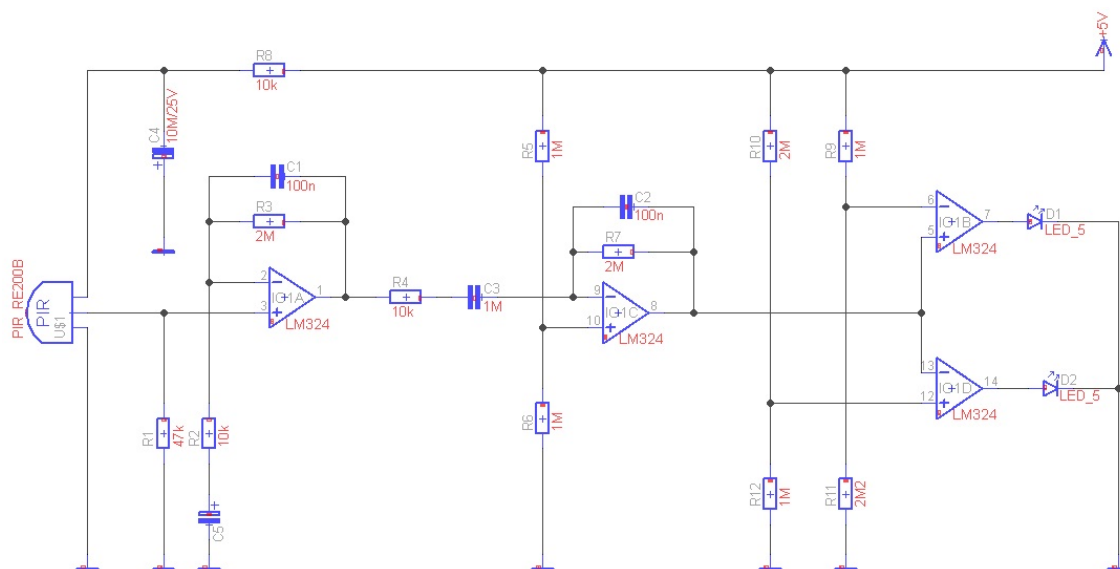
<sup>1</sup>[http://robokits.co.in/shop/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=234](http://robokits.co.in/shop/index.php?main_page=product_info&products_id=234)



Obr. 3.3: Rozsahy zastíněné čočky[4]

### 3.2.2 Realizace senzoru

Samotný detektor, který byl použit v tomto zapojení - RE200B, vysílá velmi slabý střídavý signál o velikosti 25 mVp-p. Pro zesílení signálu na zpracovatelnou mez je nutné čidlo doplnit o obvod pro zesílení signálu, schéma zapojení- obr.3.4.

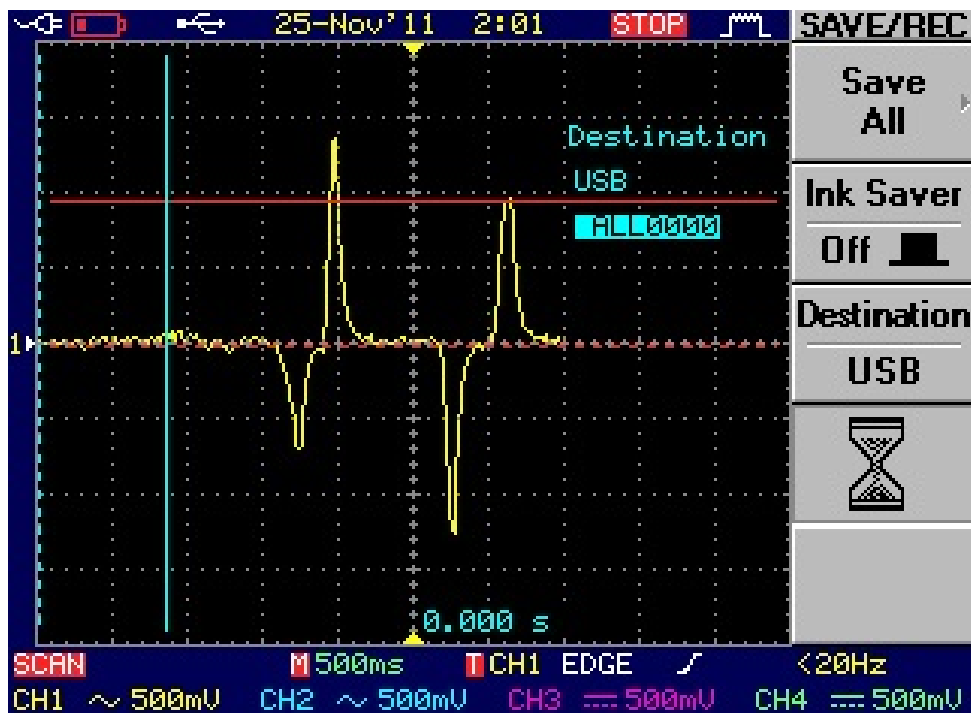


Obr. 3.4: Schéma zapojení

Původní zapojení ze zdroje [5] bylo upraveno a byla zde přidána logická část. Schéma se skládá ze dvou zesilovačů zapojených do série. Každý ze zesilovačů má 20-ti násobné zesílení signálu. První zesilovač je neinvertující a druhý je zapojen jako invertující. Tímto zapojením zesilovačů bylo dosaženo napětí na výstupu 1,5 V. Toto výstupní napětí je závislé na vzdálenosti detekovaného objektu od detektoru. Např. pohyb ruky člověka těsně nad detektorem dokáže vyvolat napětí až o velikosti 1,5 V, avšak člověk, který procházel kolem detektoru ve vzdálenosti půl metru, vyvolal impuls o nižším napětí cca do 1,0 V.



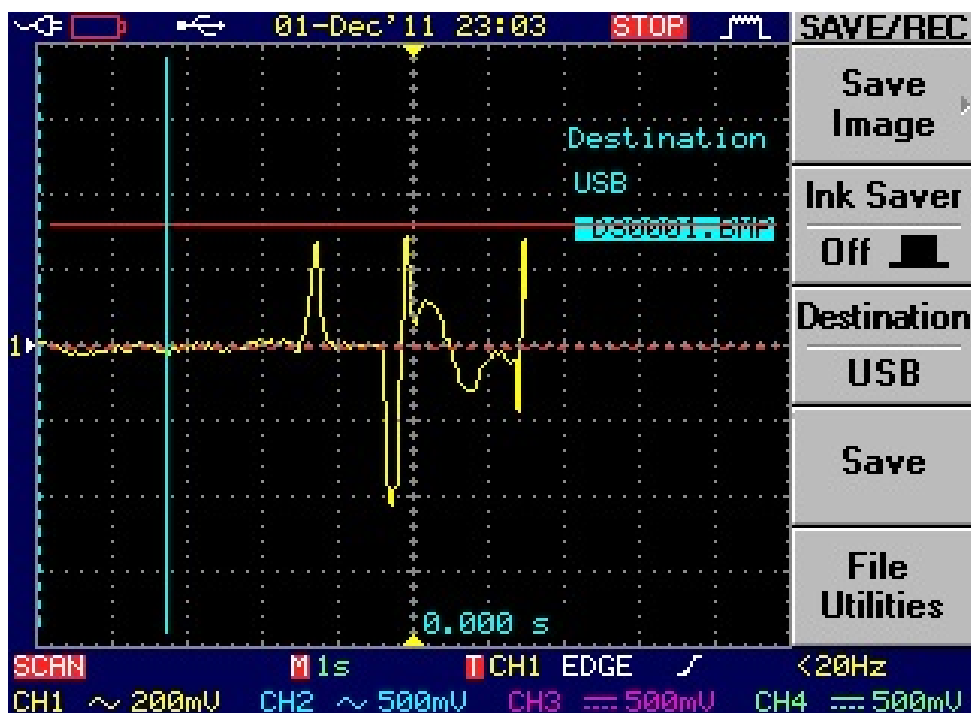
Následuje logika dvou operačních zesilovačů zapojených jako komparátory, které porovnávají nastavené napětí se zesíleným napětím z detektoru. Pokud toto napětí překročilo nastavenou mez, procházející osoba byla detekována, komparátor rozsvítil LED diodu na svém výstupu. V zapojení jsou komparátory dva. Na základě tohoto zapojení jsme schopni porovnávat jak kladnou půlvlnu, tak i zápornou a rozpoznat, ze které strany bylo k detektoru přistoupeno. Podle obrázku 3.5, který zachycuje výstupní zesílený signál z detektoru, každá reakce se skládá ze dvou pulsů. Detektor je nutné nastavit tak, aby detekční oblast odpovídala linii pohybu daným prostorem (dveřmi dopravního prostředku). V tomto případě je detektor schopen rozeznat směr pohybu dveřním prostorem (nástup - výstup). Tento směr je dán rozdílnou velikostí amplitud signálu. Na obrázku 3.5 jsou zachyceny obě dvě možnosti v časové souvislosti.



Obr. 3.5: Průběh zesíleného signálu

Po realizaci byla provedena měření hlavního využití PIR detektoru k rozpoznání průchodu osobou. Testováno bylo, zda více osob nevyvolá impuls o větší amplitudě. U všech pokusů detektor stále vysílá pouze špičky o maximální hodnotě 25mVp-p, intenzita záření sice ovlivní velikost amplitudy, ale jen do této zmiňované hodnoty. Z průběhu signálu - obr. 3.6 - jde dobře určit, kdy prošli jednotlivé osoby. I když detektor generuje dodatečné zákmity, tyto nebudou ovlivňovat výsledek indikace osob. Jsou mnohem nižšího napětí, než impuls určený pro detekci a následné sčítání.

Testy rovněž ukázaly na následující nedostatek, který způsobí chyby v detekci osob. Tento nedostatek se projeví v případě, že se sledovaná osoba zastaví ve snímané oblasti čidla a poté se dá opět do pohybu. Detektor není schopen zaznamenat osobu stojící před ním. Pro správnou detekci je nutná změna ve snímaném záření, člověk se musí pohybovat. K reakci senzoru stačí i velmi pomalý pohyb. Senzor poté reaguje. Přesto musíme k této vlastnosti také přihlídnout, protože i tato situace, kdy osoba zastaví ve snímané oblasti, může nastat.



Obr. 3.6: Průběh zachycující průchod dvou lidí

### 3.3 Hodnocení PIR senzoru

Po provedení všech úprav a zhotovení zapojení byl senzor otestován a zhodnocen v rámci zadání práce. Senzor prokázal v rámci požadovaných podmínek velmi dobré výsledky. Jsme schopni určit jak přítomnost osoby, tak i směr, ze které strany se osoba pohybuje, což by umožnilo rozlišení vystupujících a nastupujících osob. Zde je řešením využití dvou detektorů na stranách dveří, kdy každý detektor je nastaven na snímání poloviny dveřního prostoru. Rozlišení nastupujících a vystupujících osob je umožněno doplněním detektoru o vhodný logický obvod. Informace o pohybu osob získáme zpracováním signálů detektoru, které mají vhodné vlastnosti. Situaci, kdy

osoba prochází středem dveří sama v jednom směru je nutno řešit vhodnou úpravou logiky zpracování signálů obou detektorů.

Vlastnosti pasivních infračervených detektorů vytváří problém detekce osob v zimním období, kdy lidé používají tmavší oděvy ve více vrstvách. Tyto vrstvy odstíní požadované záření. Detektor v tomto případě člověka vůbec nezachytí, signál je velmi slabý. Uvedený nedostatek navrhuji vyřešit vhodným umístěním detektoru do místa, kde zachytí minimum záření člověka. Vhodnou polohou detektoru je oblast snímání hlavy detekované osoby.

Dalším nedostatkem detektoru jsou pomalé reakce na změnu. V takovém případě by rychle nastupující cestující s minimálním odstupem nemuseli být správně detekováni.

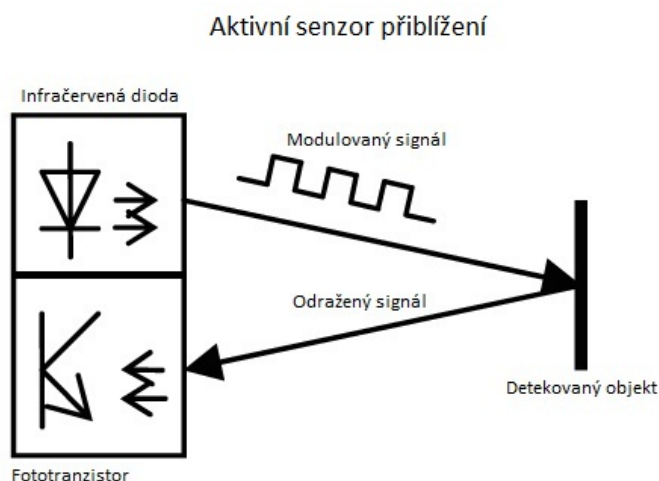
Posledním, již zmíněným nedostatkem, je chybná detekce v případě zastavení osoby ve snímané oblasti.

Shrnutím všech poznatků a výsledků všech provedených testů odhaduji dosaženou účinnost za ideálních podmínek až 90%. V zimním období, kdy nastanou výše uvedené jevy s odstíněním, se účinnost snižuje odhadem až na 60%.

## 4 AKTIVNÍ SENZOR PŘIBLÍŽENÍ

### 4.1 Popis funkce aktivního senzoru přiblížení

Tyto senzory pracují na odlišném principu, než PIR detektor, popsáný v předešlé kapitole. Senzory obsahují aktivní prvky, které vysílají signál v IR spektru. Tento paprsek, se odráží od objektů. Odražený signál je pak zachycen fototranzistorem a zpracován do elektrické podoby. Obvod je vybaven generátorem signálu, což zabraňuje reakci na jakékoliv vnější jiné IR záření. Signál o specifické frekvenci je vyslán pomocí infračervených diod. Jakmile je signál odražen a zachycen fotocitlivým tranzistorem- viz obr. 4.1 , je signál přiveden zpět do generátoru. V případě shody signálu odraženého s vyslaným generátor překlápí výstup a tím získáme potvrzení detekce. Obvod je na konstrukci jednoduchý a nevyžaduje drahé součástky, ale tento princip detekce se také bude potýkat se snížením účinnosti detekce za specifických podmínek.



Obr. 4.1: Funkce odrazového senzoru

### 4.1.1 Oblast detekce aktivního senzoru

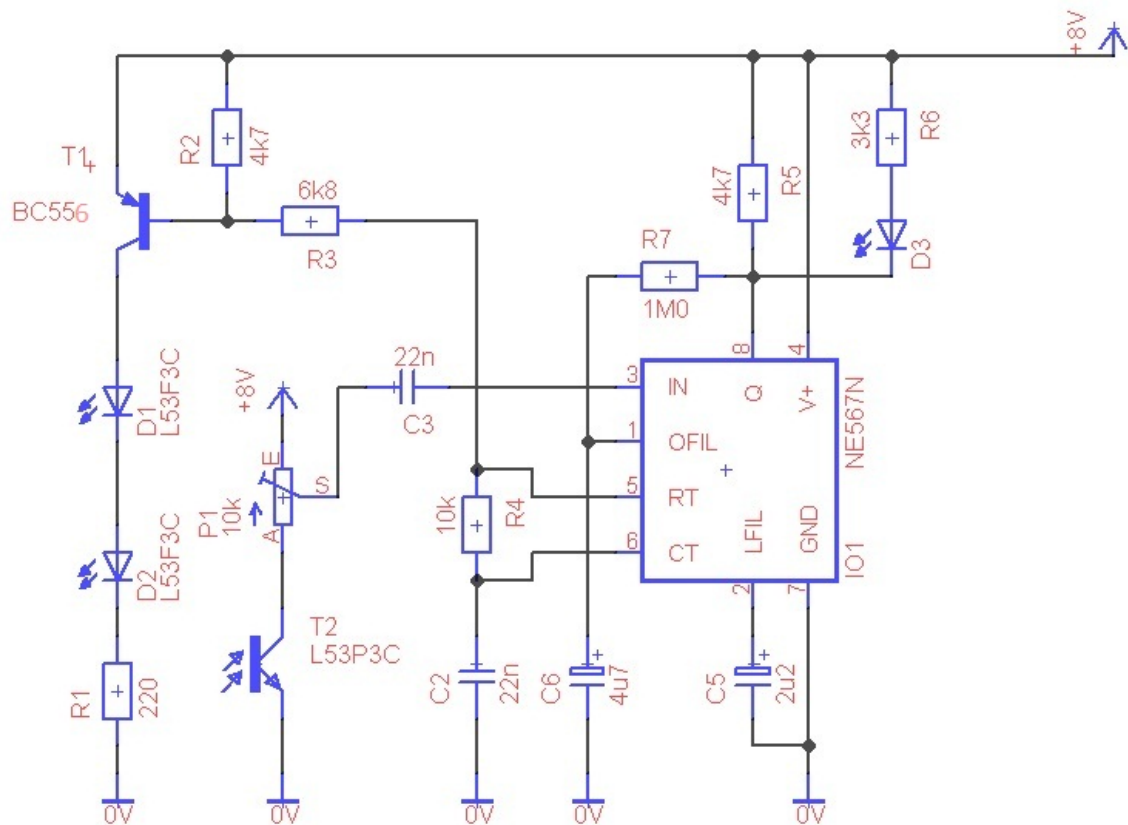
Oblast detekce se u tohoto senzoru určuje převážně úhly svítivosti diod, které jsou dány typy použitých diod. Pro tento způsob detekce je vhodné diody a fototranzistory umístit do závěsu nad dveře dopravního prostředku, pod kterým osoba musí projít a odražené paprsky jsou pak zachyceny fototranzistory. Počet fototranzistorů může být nižší než počet IR diod. Počet diod závisí na šířce snímaného prostoru. Většina dopravních prostředků má konstrukčně omezený dveřní prostor ve směru do hloubky. Navrhují zvolit LED diody s definovanými parametry vyzařování, případně tvarovat jejich signál vložением do pouzdra. U aktivních senzorů přiblížení není možno rozlišit směr pohybu osoby ve snímaném prostoru, jak tomu bylo u PIR detektoru. Požadavek definice směru průchodu prostorem (nástup, výstup) vyžaduje dvojici závěsů. Závěsy jsou spojeny do logických párů. Závěs se senzory musí být konstrukčně velmi úzký. Senzor nereaguje na změnu pohybu, detekuje odražený signál. U široké konstrukce závěsu vzniká možnost chyby v detekci při těsném závěsu. Dvojice osob bude detekována jako jedna osoba.

## 4.2 Testování a měření

Pro účely testování bylo využito následujícího zapojení- obr. 4.2 , které je zjednodušeným zapojením původního senzoru. Součástí byl časovací obvod, který je pro získání požadovaných hodnot v rámci testů nadbytečný.

Byla využita první část, skládající se z tónového generátoru s fázovým závěsem NE557. Aby nebyl detektor ovlivňován okolním osvětlením, je zde použita modulace signálu kmitočtem asi 4,5 kHz. Obvod obsahuje integrovaný oscilátor, jehož kmitočet je porovnáván v obvodu fázového závěsu s kmitočtem na vstupu obvodu. V případě, že kmitočty na vstupu a výstupu jsou stejné, překloupí se výstup do nízké úrovně. Signálem z oscilátoru je spínán tranzistor T1, v jehož kolektorovém obvodu jsou zapojeny infračervené LED diody v sérii s omezovacím rezistorem R1. V okamžiku, kdy na fototranzistor T2 dopadne IR záření vysílané diodami D1, D2 (odražené od překážky), objeví se na jeho kolektoru modulovaný signál se shodným kmitočtem jako signál vysílaný diodami D1, D2. Z běžce trimru P1 je tento signál veden přes kondenzátor C3, který odděluje stejnosměrnou složku na vstup IO1 (pin 3). Při dostatečné úrovni signálu dojde k překlopení výstupu IO1 (pin 8) a rozsvícení indikační LED D3.[7]

Po sestavení zmíněného obvodu byly otestovány dvě možnosti reálného stavu senzoru. Odrazová vzdálenost objektu, použité povrchové materiály objektu pro odraz signálu. S tímto obvodem jsme schopni získat detekční vzdálenost přes jeden metr v závislosti na velikosti detekovaného objektu a druhu materiálu, ze kterého



Obr. 4.2: Schéma zapojení senzoru přiblížení[7]

je objekt složen. Vzdálenost ovlivňuje použití výkonnější IR diody, nebo citlivější nastavení přijímacího obvodu. U senzoru nedochází k vnějšímu rušení vzhledem k využití signálu o stanoveném kmitočtu.

## 4.3 Hodnocení aktivního senzoru přiblížení

Na základě výše uvedených skutečností, detekční vzdálenost je závislá na velikosti objektu a typu materiálu na povrchu objektu, kterému je IR záření vystaveno. IR záření je pohlcováno objekty s matným černým povrchem. V laboratorních podmínkách byl testován černý textilní materiál, který pohltí IR záření natolik, že senzor není schopen detekovat přítomnost objektu. Tímto vznikají nežádoucí poruchy detekce. Osoba v kompletně černém oděvu bude detekována s velmi malou až nulovou pravděpodobností. Pravděpodobnost detekce se zvyšuje umístěním senzoru na strop dveřního prostoru vozidla, kde senzor vyslaný signál přijme od nekryté části těla, hlavy.

U tohoto senzoru byly vyzkoušeny následující navrhované možnosti detekce.

První řešení bylo realizováno formou dlouhého závěsu, který byl složen ze dvou fototranzistorů a čtyř IR diod vysílajících signál na stejné frekvenci. Prováděl se součet přijímaných signálů a vyhodnocovalo se, zda byl signál odražen pouze od jednoho objektu nebo od dvou. Předpokladem bylo využití obvodu pouze jako referenční detekce pro vyhodnocení počtu osob v detekované oblasti. Podstatou této referenční detekce je přítomnost definovaného signálu na vstupu a následné sečtení jednotlivých úrovní napětí na všech přijímacích fototranzistorech. Tento navrhovaný způsob detekce však není kompatibilní se sčítacím obvodem. V okamžiku, kdy byl signál přijat na více jak jednom fototranzistoru, byl pozměněn a detekční obvod jej vyhodnotil záporně. Oddělením obvodů zapojení zařízení pracovalo správně, bez definice typů signálů. Nebylo rozlišeno IR záření světelného spektra od odraženého signálu.

Pro potřeby účinnější detekce tímto senzorem navrhuji rozdělit dveřní prostor na dvě části. Každá část má jeden závěs o definované frekvenci pro vstup a odlišné pro výstup. Takovýto průchod je tvořen čtyřmi závěsy, kde vždy dva tvoří logický pár. Detekční jednotka zaznamená pohyb a čeká na signál z druhého závěsu logického páru. V okamžiku příjmu signálu jednotka zaznamená nástup nebo výstup, podle sledu signálů ze závěsu.

Toto uspořádání je prakticky realizovatelné a efektivní. Hodnoty takto navržené sestavy budou rozdílné v letní a zimním období. V letním období předpokládám účinnost až 95%. Snížená efektivnost nastane v zimním období s nástupem tmavého - černého oblečení, které pohlcuje IR záření- odhadovaná účinnost pod 70%. Účinnost detekce je velmi závislá v tomto řešení na velmi hrubém odhadu procenta oděvů v černé barvě.

Jednou z možností zvýšení účinnosti detekce je osadit detekční zařízení velmi silnými zdroji IR záření a velmi citlivými přijímači, kdy by se podařilo zachytit i velmi malou - slabou část signálu, která se odrazí jak od černého materiálu tak i od odkrytých částí těla, například obličeje.



## 5 ULTRAZVUKOVÝ SENZOR

### 5.1 Popis funkce ultrazvukového senzoru

Ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti, který byl použit, je tvořen piezoelektrickým generátorem. Tento generátor je připojen na membránu, jakmile se do generátoru přivede napětí, piezoelektrický krystal změní svoji velikost a pohybuje s membránou. Ta vytváří zvukové vlny o vysoké frekvenci, které není možné zachytit lidským sluchem. Tyto zvukové vlny se šíří prostorem, jakmile narazí na překážku, odrazí se zpět k senzoru, který je zachytí a následně přidruženými obvody zpracuje. Hlavní části jsou- samotný snímač s piezoelektrickým měničem, budící a přijímací obvody, dále pak vyhodnocovací obvody, ty tvoří komparátory a zesilovače a jako poslední je koncový zesilovací stupeň.

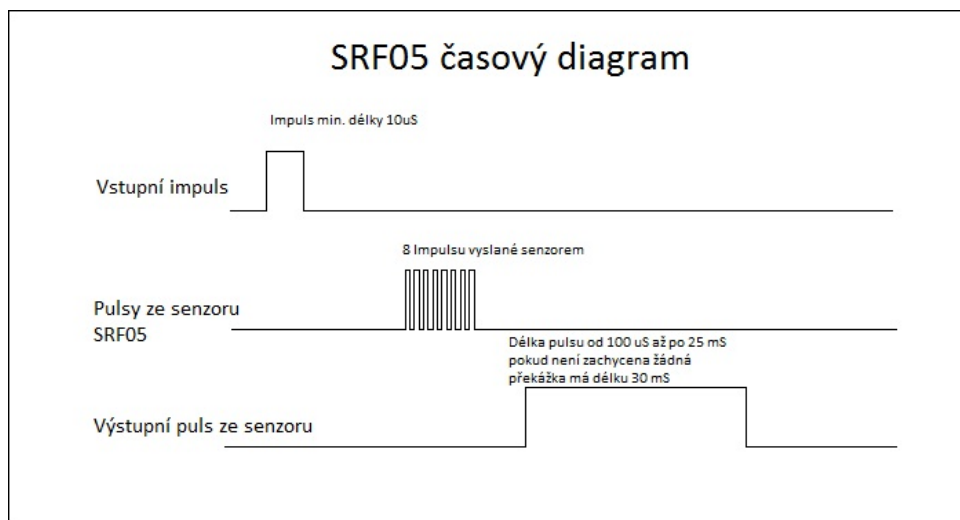
Použili jsme již hotový modul HY-SRF05<sup>1</sup>. Na jeho vstup Trigger input mikrokontrolér přivede puls s úrovní 5 V a přesně stanovenou délkou trvání. Pro tento specifický modul je stanovena minimální délka 10 mikrosekund. Modul impuls zpracuje a vyšle sekvenci ultrazvukových pulsů. Jakmile jsou odraženy od překážky a vrátí se zpět k senzoru, jsou zachyceny a zpracovány. Modul překlopí svůj výstup output na úroveň 5 V v určitém časovém úseku. Tento časový úsek je dán vzdáleností objektu od senzoru. Výslednou vzdálenost získáme tak, že změřený čas, kdy má výstup modulu hodnotu 5V podělíme 58 (toto číslo vychází z rychlosti šíření zvuku) a dostaneme vzdálenost v centimetrech. Průběh pulsů je zobrazen na obr. 5.1. [10]

### 5.2 Testování ultrazvukového senzoru

K otestování ultrazvukového senzoru byl využit již zmíněný modul s označením HY-SRF05. Pro využití modulu v rámci testu musí být připojen k mikrokontroléru, do kterého je nahrán vhodný program pro správnou funkci senzoru. Byl využit zapůjčený ATmega644P, který je dodáván jako kompletní vývojový kit, s porty a s připojeným LCD displayem. Modul také obsahuje další periferní zařízení, která nebyla pro naši aplikaci využita. Senzor byl připojen na volné piny portu B a do mikrokontroléru byl nahrán program. Úkolem programu je vyslat signál prostřednictvím mikrokontroléru na vstup senzoru s označením Trig. Tento impuls má délku 30 mikrosekund. Mikrokontrolér následně čeká na impuls ze senzoru. Tento impuls má délku odpovídající po přepočtu vzdálenosti od objektu. Tyto vypočtené vzdálenosti byly následně zobrazeny na displayi.

---

<sup>1</sup>[http://www.ultest.com/index.php?route=product/product&product\\_id=142](http://www.ultest.com/index.php?route=product/product&product_id=142)



Obr. 5.1: Časový diagram senzoru SRF05[9]

U senzoru se vyskytli poruchy v oblasti detekce osob. Detekování pevných materiálů jako je zeď, karton aj. je velmi efektivní a účinné i s přesným určením vzdáleností. U člověka jsou hodnoty velmi zkreslené. Člověk složený z měkkých tkání, velmi výrazně pohlcuje ultrazvukové vlny. Zde nedochází k odrazům a senzor není schopen člověka přesně detekovat. V případě pozitivní detekce se jednalo většinou o falešné odrazy a nebo o odrazy od objektů umístěných za osobou.

### 5.3 Hodnocení ultrazvukového senzoru

Shrnutím poznatků o ultrazvukového senzoru vyplývá následující závěr.

Použití modulu, který byl k dispozici, není realizovatelné, protože detekce osoby není možná. Z důvodů absorbování zvukových vln lidskou tkání. Pokud by se však vyskytl senzor, který odstraní tyto nedostatky, byl by to nejvhodnější typ z důvodů jednoduchosti. A také v oblasti rozpoznání směru pohybu, zda cestující nastupují a nebo vystupují.

Jednoduchým a nenáročným způsobem se může snímat vzdálenost objektu a v závislosti na časové změně vzdálenosti určit, zda se objekt přibližuje nebo vzdaluje. Tímto je možno definovat nástup, nebo výstup osob z dopravního prostředku. Dané řešení představuje umístění dvou senzorů, každého pro jednu polovinu dveří. S použitím sofistikovaných systémů rozpoznávání se jedná o velmi progresivní metodu, možné pro použití i jednoho senzoru na dveře .

## 6 ZÁVĚR

Celkovým shrnutím veškerých poznatků, kterých jsme otestováním jednotlivých senzorů dosáhli, dojdeme k následujícímu závěru.

Jednotlivé senzory nejsou k samostatnému využití k počítání cestujících vhodné. Každý senzor má své nedostatky, které by vnášely do součtů velké chyby. U optické závory je hlavním problémem dokonalý snímaný prostor bez překážek mezi vysílačem a přijímačem a neschopnost detekovat dvě osoby jdoucí vedle sebe.

U odrazových senzorů se potýkáme převážně s problémem pohlcování infračerveného záření, což vedlo k nedostatečným odrazům a chybám v detekci osob.

V případě PIR senzorů vzniká problém při odstínění IR záření vyzařovaného lidským tělem vyšším počtem vrstev a barvou oblečení, účinnost detekce se dá zvýšit vhodným umístěním senzoru. PIR senzory mají také pomalé reakce na změnu. V případě rychle se pohybujících osob při nástupu nebo výstupu vznikají další chyby v detekci procházejících osob.

U ultrazvukových senzorů je problém s absorpcí zvukových vln lidským tělem.

Vhodným řešením je sloučení vlastností několika systémů, vhodná kombinace senzorů a jejich umístění. Takto se snižuje chybovost čítacích jednotek na možné požadované minimum. Nejčastěji využitá kombinace je sloučení PIR detektoru s aktivním odrazovým senzorem. Jejich jednotlivé vlastnosti kompenzují vzájemné nedostatky. Spojenou logikou, která využívá údaje z obou senzorů, je dosažení až 90% účinnosti reálné.

V této práci jsme otestovali hlavně optické a bezkontaktní způsoby měření, existují další dostupné možnosti detekce procházejících osob daným prostorem. Jednou z možností jsou tlakové senzory, umístěné v podlaze. Jsou jednoduché na instalaci a nepodléhají okolním rušením. Jsou však na rozdíl od optických náchylné na mechanické poškození a chemické poškození povětrnostními vlivy. Tímto je dána jejich menší spolehlivost a životnost.

Kamerové systémy, jako další eventualita detekce a počítání osob, jsou dnes velmi přesné a efektivní. Poskytují funkci záznamu obrazu, ale jsou náročné na programové vybavení a vybavení dopravních prostředků touto technologií je velmi drahé.

# LITERATURA

- [1] *AC Systems* [online]. 2011 [cit. 2011-12-09]. Presentace. Dostupné z WWW: [http://www.acsystems.cz/prezentace\\_systemu/cz](http://www.acsystems.cz/prezentace_systemu/cz).
- [2] *NetRex* [online]. 2011 [cit. 2011-12-09]. Metody počítání. Dostupné z WWW: <http://www.netrex.cz/cz/sluzby-a-produkty/people-counting/metody/>.
- [3] Pyroelektrické detektory infračerveného záření. *Amatérské rádio řada B - pro konstruktéry*. 1992, 5, s. 163-180
- [4] *Ladyada.net* [online]. 17.5.2011 [cit. 2011-12-15]. PIR motion sensors. Dostupné z WWW: <http://www.ladyada.net/learn/sensors/pir.html>.
- [5] *PaJa-trb* [online]. 2009 [cit. 2011-12-09]. Osvětlení linky + PIR. Dostupné z WWW: [http://www.paja-trb.unas.cz/elektronika/konstrukce/pir\\_osvetleni.html](http://www.paja-trb.unas.cz/elektronika/konstrukce/pir_osvetleni.html).
- [6] Detektor přiblížení. *Amaterské rádio : SAK*. 1998, 5, s. 2.
- [7] *Hw.cz* [online]. 1997 [cit. 2011-12-09]. Detektor přiblížení. Dostupné z WWW: <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART1421-Detektor-priblizeni.html>.
- [8] Elektronikacz. *Optická závora* [online]. 2009 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.elektronikacz.ic.cz/Data/infrazavora.html>
- [9] SRF05 - Ultra-Sonic Ranger. *Robot-electronics* [online]. 2001 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf05tech.htm>
- [10] Ultrazvukové senzory přiblížení. *Automatizace* [online]. 1997-2009 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005110201>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

IR    Infračervené - Infrared

mVp-p   mV peak to peak - mV špička - špička (hodnota napětí mezi špičkami sinusového signálu)

PIR   Pasivní infračervený senzor - Passive infrared sensor